ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

Υ Δ Ρ Α Υ Λ Ι Κ Α   Ε Ρ Γ Α

1ος ΚΥΚΛΟΣ – Α' ΤΑΞΗ ΤΕΕ

ΤΟΜΕΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΑΘΗΝΑ 1999

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

«Ούτε μια μικρή ποσότητα νερού που αποκτάμε από τη βροχή να μην πάει στη θάλασσα, χωρίς να έχει ωφεληθεί ο άνθρωπος». Με αυτά τα λόγια ο βασιλιάς Parakrama της Sri Lanka υποδέχτηκε το 12ο αιώνα τους υδραυλικούς μηχανικούς της εποχής του (*). Εχουν περάσει οκτακόσια χρόνια και σε μεγάλο βαθμό, σε πολλά μέρη του κόσμου, η παραπάνω πρόκληση έγινε πραγματικότητα. Εχουν κατασκευαστεί περισσότερα από 36.000 φράγματα σε όλο τον κόσμο για τον έλεγχο των πλημμυρών και την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, την άρδευση, την τροφοδοσία της Βιομηχανίας και την παροχή πόσιμου νερού για έναν πληθυσμό που παγκόσμια αυξάνεται και μια οικονομία που διαρκώς διευρύνεται.

- Μετά από αυτή τη σύντομη εισαγωγή θα περιγράψουμε το αντικείμενο του βιβλίου, αυτού που απευθύνεται στους μαθητές της Α’ τάξης (1ος κύκλος) των ΤΕΕ. Σύμφωνα με τις οδηγίες του Π.Ι. και το αναλυτικό του πρόγραμμα η ύλη χωρίζεται σε εννέα κεφάλαια.
- Τα τρία πρώτα κεφάλαια (Γενικά - Υδροστατική Πίεση - Παροχή, Υδροδυναμική) περιλαμβάνουν τους βασικούς νόμους και αρχές της Υδραυλικής για την κατανόηση πρακτικών προβλημάτων ροής του νερού μέσα σε κλειστούς υπό πίεση σωληνωτούς αγωγούς και σε ανοικτούς αγωγούς σταθερών τοιχωμάτων.
- Η Υδραυλική αποτελεί εφηρμοσμένο κλάδο της Φυσικής και μάλιστα της Μηχανικής των ρευστών και είναι σίγουρο ότι απασχόλησε τους ανθρώπους από τα πρώτα χρόνια που εμφανίστηκαν στη γή. Θυμηθείτε λιμναίους οικισμούς, την Κιβωτό του Νώε, τα πρώτα πλοία. Από ανασκαφές γνωρίζουμε ότι υπήρχαν αρδευτικά συστήματα από το 3000 π.Χ, το δε παλαιότερο υδάτινο φράγμα που έχει καταγραφεί είναι μια λιθοδομή 15 μέτρων κτισμένη το 2.900 π.Χ. στον ποταμό Νείλο.

  Για τους αρχαίους Ελληνες το νερό ήταν μία από τις τέσσερεις μορφές της ύλης, σύμφωνα δε με το λόγο του Πινδάρου (522-438 π.Χ.) «Αριστον μεν ύδωρ» δηλ. το καλύτερο πράγμα στον κόσμο είναι το νερό.

- Στη συνέχεια του βιβλίου τα κεφάλαια τέσσερα και πέντε περιγράφουν τη ροή του νερού σε ανοικτές διώρυγες και σε κλειστούς αγωγούς και εξηγούν τη λειτουργία ενός αντλητικού συγκροτήματος.

---

* Βλέπε «Evolution of Water Management in Sri-Lanka» των K. Gunatilaka και L. Weerakoon στα Proceedings of the Vi[th] IWRA World Congress on Water Recources (Urbana Illinois USA το 1988)

Στα τελευταία τέσσερα κεφάλαια (Τα 6,7,8 και 9) γίνεται μια αναλυτικώτερη παρουσίαση των κυριώτερων υδραυλικών έργων που αφορούν:
(α) Τα υδρευτικά δίκτυα, (β) τα αποχετευτικά δίκτυα οικισμών, (γ) τα αντιπλημμυρικά έργα και τα έργα αποθηκεύσεως νερού (φράγματα, λιμνοδεξαμενές και (δ) τα αρδευτικά δίκτυα.

- Η κατασκευή υδραυλικών έργων, που στη σημερινή εποχή απαιτεί συνισταμένη γνώσεων υδραυλικής, αντοχής υλικών, - υδρολογίας, - εδαφομηχανικής, αποσκοπεί στον έλεγχο και στη διευθέτηση του νερού με τελική προοπτική τη διάθεσή του για χρήσιμους σκοπούς στις κοινωνίες των ανθρώπων. Από την αρχαιότητα η κατασκευή πολύπλοκων υδραυλικών έργων συμβάδιζε με τον πολιτισμό της χώρας που τα κατασκεύαζε.

Τελειώνοντας θέλω να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν, με οποιοδήποτε τρόπο, στην καλύτερη παρουσίαση αυτού του βιβλίου και να ευχηθώ να αποτελέσει αυτό ένα χρήσιμο βοήθημα στους νέους μαθητές των ΤΕΕ.

- -

Δημήτρης Βαλασσόπουλος

Πολιτικός Μηχανικός - Γεωπόνος M.Sc.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΝΙΚΑ

1.1 Υδροστατική

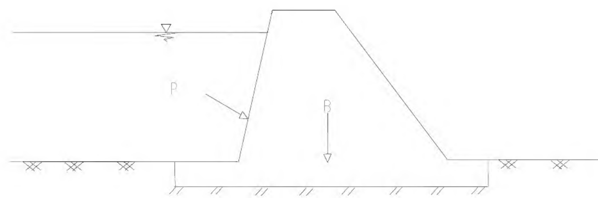
Οταν το νερό βρίσκεται σε ηρεμία, όταν δηλαδή δεν έχουμε κίνηση, τότε το νερό ασκεί πιέσεις τόσο στον πυθμένα όσο και στα τοιχώματα του χώρου μέσα στον οποίο είναι αποθηκευμένο.
Πίεση επίσης δέχονται και όλα τα σώματα που βρίσκονται βυθισμένα μέσα στο νερό.
Αυτή την πίεση την ονομάζουμε ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ και την συμβολίζουμε με P.
Περιπτώσεις όπου η υδροστατική πίεση έχει μεγάλη σημασία και πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψιν είναι: τα φράγματα, οι υποβρύχιες κατασκευές, τα υποβρύχια πλοία οι δύτες κ.ά.

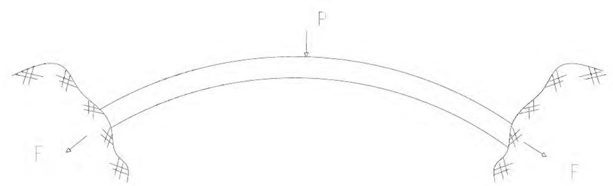
1.2 Υδροδυναμική

Μια άλλη κατάσταση στην οποία βρίσκεται το νερό, είναι όταν κινείται είτε μέσα σε ποτάμια, χειμάρρους, ρυάκια είτε μέσα σε τεχνητούς ανοικτούς αγωγούς, ή σε σωληνωτά κλειστά δίκτυα.
Στις περιπτώσεις αυτές, μεγάλη σημασία έχει η ταχύτητα κινήσεως του νερού, η μορφή του αγωγού μέσα στον οποίο κινείται το νερό, δηλαδή το σχήμα και το εμβαδόν του και τέλος η κλίση του καθώς και το υλικό κατασκευής του.
Μπορεί κανείς να αναφέρει πολλά παραδείγματα όπου έχουμε πρακτικές εφαρμογές νερού σε κίνηση.
Τα σωληνωτά δίκτυα που ποτίζουν τα χωράφια με τεχνητή βροχή, όλα τα δίκτυα που μεταφέρουν το νερό στα σπίτια μας, τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια της ΔΕΗ, τα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας μιας περιοχής κ.ά. είναι μερικά παραδείγματα.
Ολα τα παραπάνω, όσα δηλαδή ασχολούνται με το νερό όταν αυτό βρίσκεται σε κίνηση, τα εξετάζει η ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ.

1.3 Παραδείγματα - Σχήματα

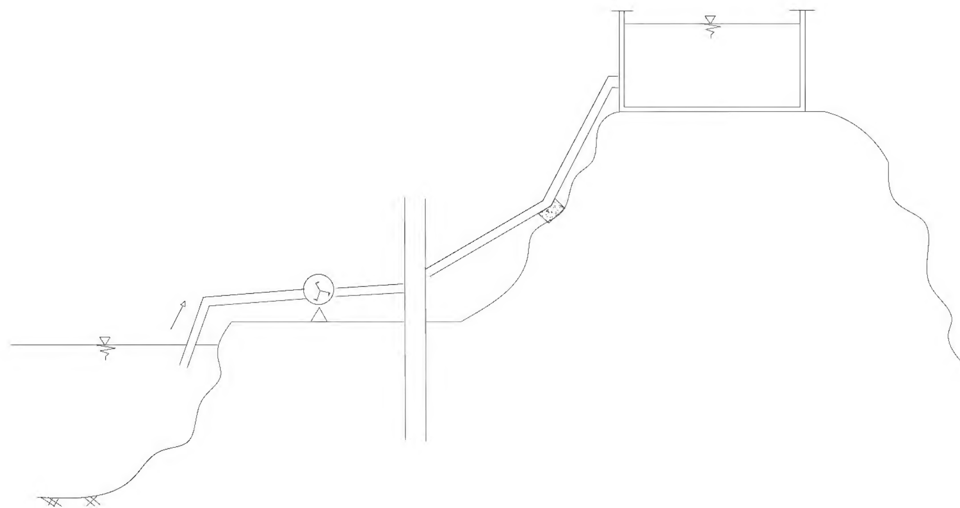
Και τώρα μερικά παραδείγματα, με απλά σχήματα και λίγα λόγια, από Υδραυλικά Εργα όπου θα πρέπει να γνωρίζουμε τους βασικούς νόμους της Υδροστατικής και της Υδροδυναμικής.



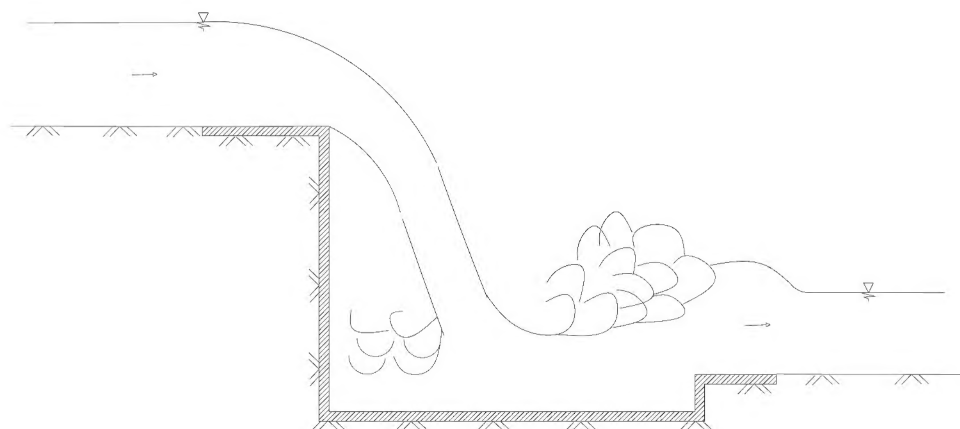


σχηματική κάθετη τομή φράγματος βαρύτητας
P= υδροστατική πίεση νερού
B = βάρος του σώματος του φράγματος

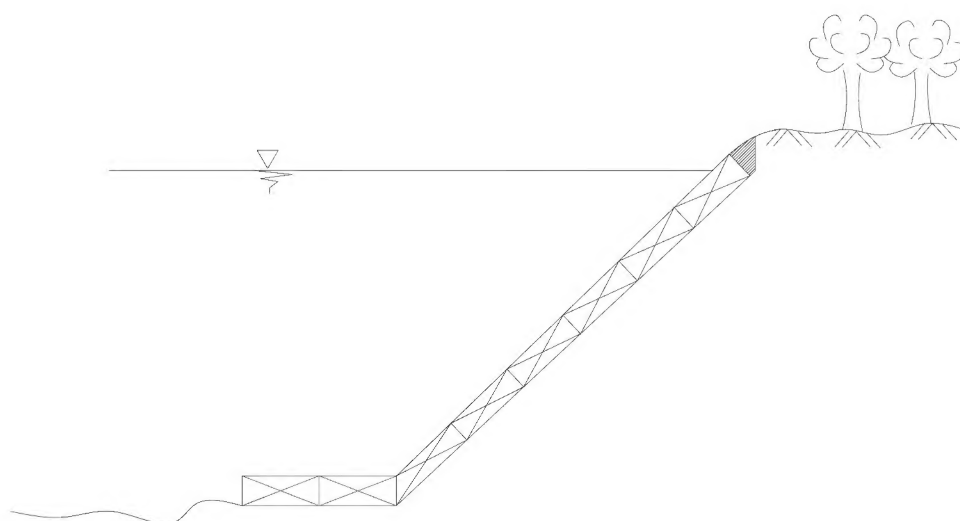
σχηματική οριζοντιογραφία τοξωτού φράγματος
P = η συνολικά ασκουμένη υδροστατική πίεση
F = δυνάμεις που ασκούνται στα αντερείσματα



Μεταφορά νερού, με τη βοήθεια αντλίας, από λίμνη σε δεξαμενή που βρίσκεται ψηλότερα



ελεύθερη πτώση νερού (καταρράκτης) σε ανοικτούς αγωγούς



Τοποθέτηση συρματοκιβωτίων (σαρζανέτια) για την προστασία πρανών
σε έργα διευθετήσεως ποταμών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ

2.1 Εισαγωγή

Οταν το νερό ή οποιοδήποτε ρευστό περιοριστεί μέσα σε στερεά τοιχώματα τότε τα τοιχώματα θα δέχονται μιά κάθετο στην επιφάνειά τους πίεση που θα την καλούμε ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ. Συμβολίζεται με P και ισχύει η σχέση $P = F/E$ όπου F = η ολική δύναμη που ασκείται ομοιόμορφα στην επιφάνεια Ε. Η μονάδα που μετράμε

την P στο τεχνικό σύστημα είναι kp/m^2. Στις πρακτικές εφαρμογές έχουμε την Τεχνική Ατμόσφαιρα = 1 atm = 1 $\frac{kp}{cm^2} = 10 ton/m^2$

2.2 Άνωση - Αρχή του Αρχιμήδους

Υδροστατική όμως πίεση δέχονται και όλα τα σώματα που είναι βυθισμένα μέσα στο νερό. Η P γίνεται μεγαλύτερη όσο βαθύτερα στο νερό είναι το σώμα και έχουμε ισορροπία όταν η ΑΝΩΣΗ F_A είναι ίδια με το ΒΑΡΟΣ Β του βυθισμένου σώματος, όπου άνωση είναι το άθροισμα των υδροστατικών πιέσεων που δέχεται από όλες τις πλευρές του ένα βυθισμένο σώμα.

ΑΡΧΗ ΤΟΥ ΑΡΧΙΜΗΔΟΥΣ (287-212 π.Χ.) «κάθε σώμα που βρίσκεται βυθισμένο μέσα σε ένα υγρό, υφίσταται άνωση που είναι ίση με το βάρος του υγρού που εκτοπίζει»

2.3 Πιεζομετρικό ύψος - Κέντρο πιέσεων

Εάν δεχτούμε ότι η ατμοσφαιρική πίεση Po είναι γνωστή, τότε ένα σημείο που βρίσκεται σε βάθος y μέσα σε ένα υγρό που έχει ειδικό βάρος γ δέχεται συνολική υδροστατική πίεση $P = P_o + \gamma . y \Rightarrow y = \frac{P - Po}{\gamma}$ πιεζομετρικό ύψος

Από τα παραπάνω εύκολα συμπεραίνεται ότι μια επιφάνεια που έχει εμβαδό Ε δέχεται συνολικά $P = (P_o + \gamma . y_s) * E$ όπου y_s = είναι το βάθος του σημείου εφαρμογής της συνισταμένης δυνάμεως P.

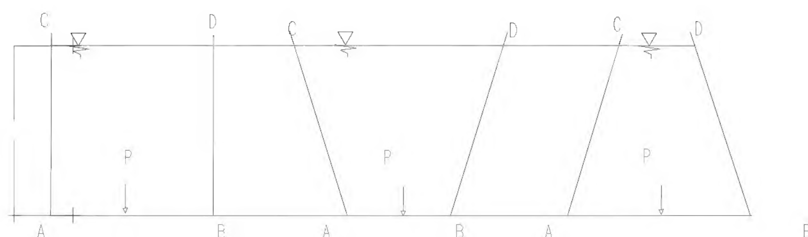
Το σημείο αυτό εφαρμογής της P το καλούμε ΚΕΝΤΡΟ ΠΙΕΣΕΩΣ και συμπίπτει με το κέντρο βάρους της επιφάνειας μόνο στις οριζόντιες επιφάνειες. Στην περίπτωση των κεκλιμένων επιφανειών διαφέρει το σημείο εφαρμογής του κέντρου πιέσεως από το κέντρο βάρους της επιφανείας. Για τις κατακόρυφες επιφάνειες (που θεωρούνται περίπτωση των κεκλιμένων με γωνία κλίσεως 90^o) η συνισταμένη P εφαρμόζεται σε απόσταση 1/3 του βάθους άμα μετρήσουμε από τον πυθμένα μόνο για τις περιπτώσεις επιφανειών με ορθογωνικό σχήμα.

2.4 Υδροστατική πίεση σε πυθμένα και τοιχώματα

Σαν συμπέρασμα από τα προηγούμενα έχουμε ότι η υδροστατική πίεση που δέχεται ο πυθμένας ενός δοχείου είναι ανεξάρτητος από το σχήμα του δοχείου.

Έτσι και στις τρεις περιπτώσεις του παραπλεύρως Σχ 2.4.α τα 3 δοχεία με

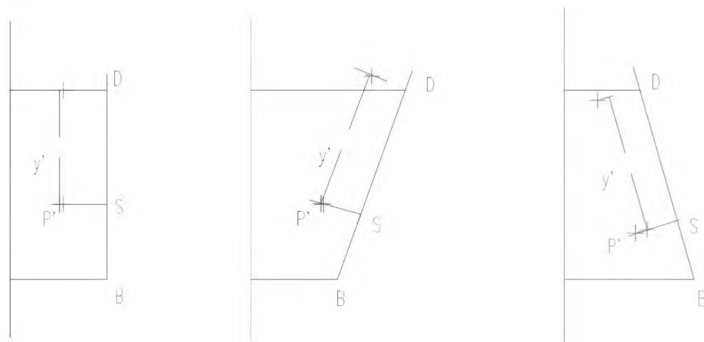
ίδιο εμβαδό πυθμένα δέχονται την ίδια υδροστατική πίεση



P = (Εμβαδό Πυθμένα) * (γ νερού * y)

Οσον αφορά τις πιέσεις που δέχονται τα πλευρικά τοιχώματα ΔΒ ή ΓΑ, δεχόμαστε ότι στην επιφάνεια ΓΔ έχουμε μηδενική πίεση ενώ στη βάση ΑΒ το σύνολο της P = Ε.γ.y.

Ετσι έχουμε μια τριγωνική κατανομή των πιέσεων στα πλευρικά τοιχώματα, η δε συνισταμένη τους P’ είναι κάθετος στην επιφάνεια και εφαρμόζεται σ’ ένα σημείο Π που απέχει $y = \frac{2}{3}y$ από την επιφάνεια ή $\frac{1}{3}y$ από τον πυθμένα, όπως φαίνεται στο Σχ. 2.4.β.



2.5 ΠΙΝΑΚΑΣ υδροστ. πιέσεων σε επίπεδα τοιχώματα διαφόρων σχημάτων

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι υδροστατικές πιέσεις που ασκούνται σε επίπεδα τοιχώματα διαφόρων σχημάτων

	εμβαδόν	Κέντρο	Υδροστατική	απόσταση του

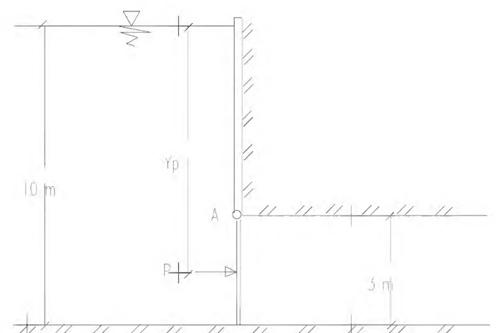
	πιεζομένης επιφάνειας	βάρους B	πίεση P	κέντρου πιέσεως από την επιφάνεια του νερού
	L*y	$\frac{y}{2}$	$\gamma.\frac{L.y^2}{2}$	$\frac{2}{3}y$
	L*y_1	y-$\frac{y_1}{2}$	$\gamma.L.y_1\left(y-\frac{y_1}{2}\right)$	y-y1+$\frac{y_1}{3}.\frac{3y-y_1}{2y-y_1}$
	$\frac{L_1+L_2}{2}$*y	$\frac{L_1+2L_2}{L_1+L_2}.\frac{y}{3}$	$\frac{\gamma.y^2(L_1+L_2)}{6}$	$\frac{L_1+3L_2}{L_1+2L_2}.\frac{y}{2}$
	$\frac{L*y}{2}$	$\frac{y}{3}$	$\frac{\gamma.L.y^2}{6}$	$\frac{y}{2}$

	$\frac{\pi R^2}{2}$	$\frac{4}{3}.\frac{R}{\pi}$	$\frac{2}{3}.\gamma.R^2$	$\frac{3}{16}\pi R$
	πR^2	$t+R$	$\gamma.\pi.R^2(t+R)$	$t+R+\frac{R^2}{4(t+R)}$

2.6 <u>ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1</u>

Από μία ανοικτή δεξαμενή το νερό μεταφέρεται, μέσω μιας θυρίδος ΑΒ, σε έναν κλειστό ορθογωνικό αγωγό που έχει διαστάσεις 3 m (ύψος) * 4 m (πλάτος).
Θέλουμε να βρούμε τη συνολική υδροστατική πίεση που δέχεται η θυρίδα.

Σύμφωνα με τον πίνακα της παρ. 2.5 έχουμε ότι το κέντρο πιέσεως απέχει από την επιφάνεια του νερού



$$Yp = 10\text{-}3+\frac{3}{3}x\frac{3x10-3}{2x10-3}=7+1{,}6=8{,}6 \text{ m}$$

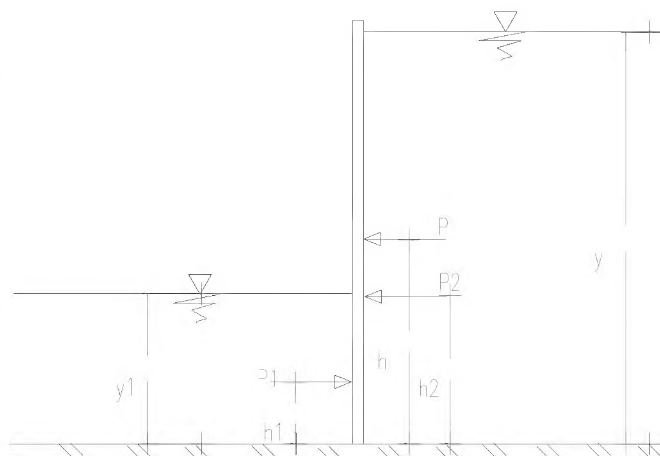
Η δε συνολική $P = \gamma * Yp*E = 1 \text{ ton/m}^3 * 8{,}6(3*4 \text{ m}^2)$

$$P = 8{,}6 * 12 = 103{,}2 \text{ ton}$$

Πρέπει λοιπόν η κατασκευή της, η στήριξή της στο σημείο Β και η άρθρωσή της στο Α να είναι ικανές να δεχθούν μία συνολική πίεση 103,2 ton ή 8,6 ton/m^2.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 2

Μιά ξύλινη ορθογωνική κατασκευή πλάτους 1,0 m έχει τοποθετηθεί κάθετα σε μια ανοικτή ορθογωνική διώρυγα με ίδιο πλάτος.
Σε μια χρονική στιγμή υπάρχει νερό και από τις δύο πλευρές.
Να βρεθεί η συνολική πίεση που υφίσταται η κατασκευή και το σημείο εφαρμογής της (δίδονται Y2=9m και Y_1=3m)



Εχουμε $P_1=\gamma.\frac{Y_1^2}{2}L$ και $P_2=\gamma.\frac{Y_2^2}{2}.L$ (το πλάτος L=1,0 m)

$$P_1 = 1\frac{ton}{m^3}*\frac{3^2}{2}m^2*1m = 4{,}5ton$$

$$P_2 = 1\frac{ton}{m^3}*\frac{9^2}{2}m^2*1m = 40{,}5ton$$

Επειδή έχουν αντίθετη φορά η συνισταμένη τους θα είναι
$P = P_2 - P_1 = 36$ ton
Τα σημεία εφαρμογής των P1 και P2 θα βρίσκονται σε μια θέση που απέχει $\frac{1}{3}$ από τον πυθμένα. Θα έχουμε δηλαδή $h_1 = 1m$ $h_2 = 3m$
Εφόσον υπάρχει ισορροπία τότε $P*h = P_2*h_2 - P_1*h_1$

Αρα το σημείο εφαρμογής της P θα απέχει από τον πυθμένα

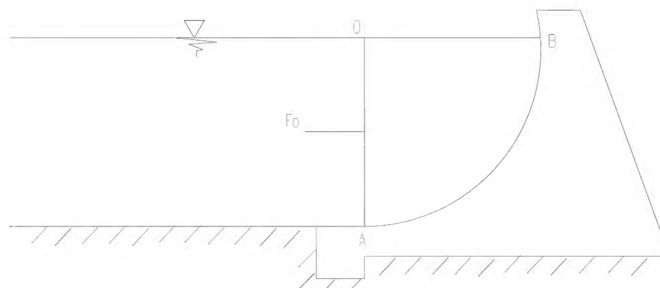
$$h = \frac{P_2*h_2 - P_1*h_1}{P} = \frac{40{,}5*3 - 4{,}5*1}{36}$$

$$h = \frac{117}{36} = 3{,}25m$$

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 3

Να προσδιορίσετε την ένταση (το μέγεθος) και τη γραμμή ενεργείας (τη διεύθυνση) της συνισταμένης δύναμης πιέσεων που εξασκείται από το αποθηκευμένο νερό πάνω στην κοίλη επιφάνεια ενός φράγματος που έχει μήκος 30 m. Η κοίλη επιφάνεια καλύπτει το 1/4 κύκλου με ακτίνα 3m.

δίδονται ακτίνα R=OA=OB=3m
και μήκος φράγματος L =30 m
Στην περίπτωση της παρούσης εφαρμογής, επειδή έχουμε κοίλη επιφάνεια, υπάρχουν δύο δυνάμεις:
η κατακόρυφος F_κ και η οριζόντια F_o.



Το άθροισμά τους θα είναι η ζητούμενη συνισταμένη δύναμη πιέσεων F.

- Εχουμε $F_\kappa = \gamma$ (όγκος OAB) = γ (εμβαδό OAB * L)

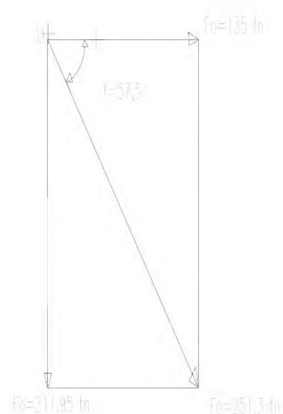
Το εμβαδό του τεταρτοκυκλίου OAB είναι

$$\frac{\Pi R^2}{4} = \frac{3{,}14.3^2}{4} = 7{,}065 m^2 \quad (\gamma \text{ νερού} = 1 \text{ ton/m}_3)$$

Αρα $F_\kappa = 1 \text{ ton/m}^3 * 7{,}065 \text{ m}^2 * 30 \text{ m} = 211{,}95 \text{ tn}$

- Εχουμε $F_o = \gamma . Z_\kappa . E = 1 \text{ ton/m}^3 . \frac{3m}{2} * (3m*30m)$ διότι η οριζόντια δύναμη F_o πιέζει μια επιφάνεια 3x30=90 m^2 και εφαρμόζεται στο μέσον αυτής.
- Αρα $F_o = 1 \text{ ton/m}^3 * 1{,}5 \text{ m} * 90 \text{ m}^2 = 135 \text{ tn}$
- Αυτές οι δύο δυνάμεις είναι κάθετες μεταξύ τους και η συνισταμένη τους είναι η υποτείνουσα του ορθογωνίου τριγώνου που σχηματίζουν.

  Από το Πυθαγόρειο Θεώρημα



έχουμε $F = \sqrt{F_o^2 + F_k^{\ 2}} =$

$= \sqrt{135^2 + 211{,}95} = \sqrt{63147{,}802}$

και F = 251,3 tn

- Η F εφαρμόζει κάθετα πάνω στην κοίλη επιφάνεια ΑΒ, άρα η γραμμή ενεργείας της (η διεύθυνσή της) θα περνά από το κέντρο του κύκλου Ο και θα σχηματίζει γωνία $\varphi = 57{,}5^o$ με την επιφάνεια του νερού.

ΠΥΘΑΓΟΡΕΙΟ ΘΕΩΡΗΜΑ

Σε ένα ορθογώνιο τρίγωνο το άθροισμα των τετράγωνων των δύο καθέτων πλευρών ισούται με το τετράγωνο της υποτείνουσας.

ΑΠΟ ΤΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

Σε ένα ορθογώνιο τρίγωνο ο λόγος των καθέτων πλευρών $\frac{\alpha}{\beta}$ *= καλείται εφαπτομένη και από πίνακες βρίσκουμε τη γωνία φ (η γωνία που είναι απέναντι από την πλευρά α)*